

ALIAJE METALICE CU MEMORIA FORMEI

1. Mecanismul efectului de memoria formeii

Mult timp s-a crezut ca deformatia plastica a materialelor metalice este in intregime ireversibila. La inceputul anilor '60 ai secolului XX s-a descoperit o clasa destul de numeroasa de materiale metalice, pentru care deformatia plastica elementara se realizeaza pe baza unei transformari structurale. Asemenea materiale pot suferi deformatii plastice reversibile. Fenomenul de revenire de la sine la forma initiala - efectul de memoria formeii - poate fi intalnit atat in conditii izotermice, cat si in conditii de variatii termice, caz ultim in care aceste materiale metalice pot suferi o multitudine de deformatii reversibile.

Capacitatea de reversibilitate a deformatiei nu poate fi inhibata prin nici o actiune in forta asupra materialului. Nivelul tensiunilor de reactie pentru unele materiale cu memoria formeii poate atinge 1000 - 1300 MPa.

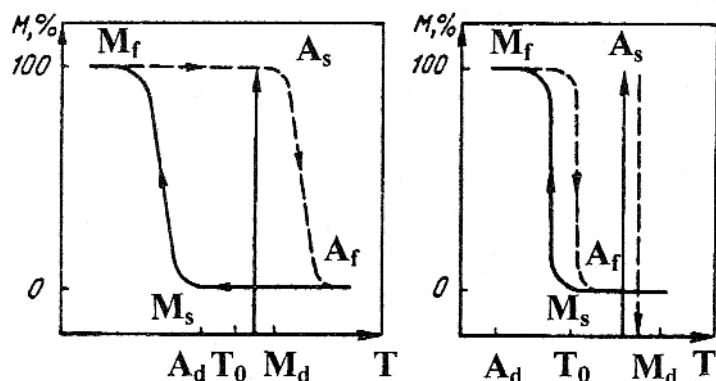
Materialele metalice cu memoria formeii reprezinta o categorie aparte de materiale cu proprietati speciale. Interesul crescut pentru acest fenomen metalurgic se refera la combinatia unica de caracteristici mecanice ridicate, rezistenta la oboseala, la coroziune, cu proprietati neobisnuite cum ar fi memoria termomecanica si tensiuni de reactie bazate pe transformarea martensitica termoelastica. Principala caracteristica a materialelor cu memoria formeii este dependenta puternica a majoritatii proprietatilor in functie de structura. Valorile caracteristicilor fizico-chimice variaza de cateva ori prin transformarea fazica reversibila austenita \Leftrightarrow martensita, intr-un interval obisnuit de temperaturi $-150 \div +150^{\circ}\text{C}$.

Din multitudinea de aliaje cu memoria formeii cele mai utilizate in practica sunt aliajele Ni-Ti (~ 50:50 % at.), avand denumirea de *nitinol* sau *nichelide de titan*. Aliajele pe baza de cupru Cu-Al-Ni si Cu-Al-Zn desi sunt mai putin scumpe, se utilizeaza mai rar.

Efectul memoriei formeii consta in aceea ca proba, avand o anumita forma la temperaturi ridicate in stare austenitica, este deformata la temperaturi scazute dupa transformarea in martensita. Dupa incalzirea in regiunea transformarii reversibile materialul revine la forma initiala.

Efectul de memoria formeii apare in aliajele cu transformare martensitica termoelastica, cu retele coerente ale fazelor austenitice si martensitice, cu un histerezis al transformarii mic si cu variatii mici de volum in timpul transformarilor (Figura 46).

Figura 46 - Dependenta compozitiei fazice a aliajului cu temperatura: a) histerezis larg; b) histerezis ingust;



În aliajele nitinol variațiile de volum reprezintă în jur de 0,34%, valoare mai mică decât în cazul oțelurilor (4 %).

În aceste condiții, la deformare se formează cristale martensitice coerente cu structura inițială, iar prin încălzire și prin transformarea inversă aceste cristale martensitice dispar și revin la rețeaua fazei inițiale. La transformarea inversă, mișcarea reversibilă a limitelor de grăunte coerente duce la restabilirea formei inițiale.

Pentru revenirea în întregime la forma inițială este necesar ca transformarea martensitică să fie reversibilă din punct de vedere cristalografic. Reversibilitatea cristalografică a transformării presupune nu numai refacerea structurii cristaline ce depinde de transformarea reversibilă, dar și refacerea orientării cristalografice a fazei inițiale. În plus, este necesar ca deformarea să se producă fără alunecare, care este un proces ireversibil, deformarea neputându-se înlătura prin încălzire.

Ținând seama că efectul de memorie forme este determinat de transformarea martensitică termoelastică, este importantă din punct de vedere științific și practic determinarea intervalelor de temperatură ale transformării martensitice: a) la încălzire - răcire, fără aplicarea unei sarcini și b) la răcire - încălzire, sub acțiunea tensiunilor mecanice cu atingerea condițiilor maxime de testare și exploatare.

Schema influenței temperaturii asupra compoziției fazice a aliajelor cu transformare martensitică reversibilă este indicată în figura 46.

La răcirea materialului din starea austenitică, martensita începe să se formeze de la temperatura M_s . Prin răcirea în continuare, cantitatea de martensita crește, austenita transformându-se integral în martensita la temperatura M_f . Sub această temperatură, din punct de vedere termodinamic, rămâne stabilă doar martensita.

La incalzire, transformarea martensitei in austenita incepe la temperatura A_s si se termina la temperatura A_f . Intr-un asemenea ciclu termic complet se obtine un histerezis. Largimea curbei histerezis, considerata pe scala de temperatura $A_f - M_s$ sau $A_s - M_f$ poate fi mai mare sau mai ingusta in functie de material (Figura 46).

In afara acestor temperaturi, mai apar inca trei valori caracteristice: T_0 , M_d , A_d , unde T_0 - temperatura de echilibru termodinamic, M_d - temperatura sub care martensita poate apare nu numai ca urmare a scaderii temperaturii, dar si sub actiunea tensiunilor mecanice, A_d - temperatura deasupra careia austenita poate apare nu numai sub actiunea temperaturii, dar si sub actiunea tensiunilor mecanice. Dispunerea acestor temperaturi fata de curba histerezis prezinta importanta asupra comportamentului materialului sub o actiune termomecanica. In cazul unui histerezis ingust (Figura 46, b) temperatura M_d poate fi mai la dreapta temperaturii A_f , iar pentru un histerezis larg, poate fi mai la stanga acestei temperaturi (Figura 46, a).

In aceste conditii, pentru un material cu un histerezis ingust, martensita formata sub actiunea unei sarcini exterioare la o temperatura $< M_d$, dar $> A_f$, va fi instabila din punct de vedere termodinamic si va dispere la inlaturarea sarcinii exterioare. In figura 46 transformarea austenita - martensita este indicata cu ajutorul unor sageti. In aceste materiale este semnalat efectul de superplasticitate legat de fenomenele in cauza.

In cazul unui histerezis larg, martensita formata va fi stabila din punct de vedere termodinamic si nu va dispere la inlaturarea sarcinii exterioare. Deformatiile vor dispere in acest caz numai dupa incalzire, adica dupa terminarea transformarii martensita - austenita.

Particularitatea transformarilor martensitice reversibile consta in aceea ca la incalzirea si racirea aliajelor dincolo de 100 - 200°C pana la atingerea punctelor A_s si M_s incep sa se micsoreze puternic modulul de alunecare G si modulul de elasticitate E , acestea devenind minime in punctele critice. Altfel spus, reseaua cristalina se "inmoaie" in urma transformarii martensitice reversibile.

Temperaturile caracteristice de transformare pentru o serie de aliaje binare Ni-Ti cu memoria formei, sunt indicate in Tabelul 27 si in Figura 47.

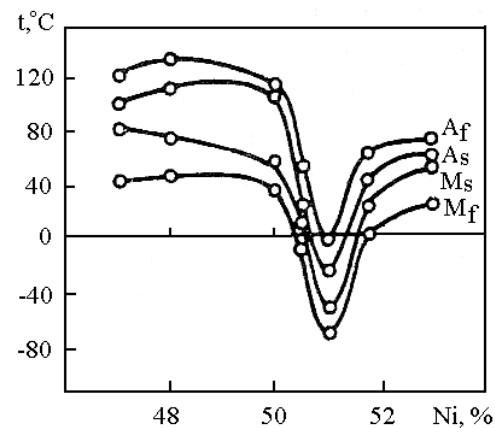
Din tabel rezulta faptul ca mici variatii compositionale ale aliajelor Ni-Ti duc la variatii semnificative a temperaturilor caracteristice, atat ca valoare, cat si ca semn.

Astfel, prin variatia raportului de Ni si Ti, se pot schimba semnificativ temperaturile transformarilor de faza si se poate influenta asupra largimii curbei histerezis. In multe aliaje cu memoria formei intervalul de temperaturi al transformarilor fazice se poate afla intre 4,2 si 1300 K.

Tabelul 27 - Temperaturile caracteristice ale aliajelor Ni-Ti

Compozitia chimica, %at.		Temperatura, °C			
Ti	Ni	Ms	Mf	As	Af
52,8	47,2	90	60	100	135
50,0	50,0	50	20	55	75
49,5	50,5	25	5	35	60
49,25	50,75	0	-20	10	30
49,0	51,0	-55	-90	-50	-25

Figura 47 - Dependenta de temperatura a transformarii martensitice directe si inverse in functie de compozitie, pentru aliajul Ni-Ti



Temperaturile transformarilor martensitice depind de compozitia aliajului. Alierea nitinolului cu fier, mangan, crom, vanadiu, cobalt duce la scaderea temperaturilor Ms si Mf pana la -196°C, iar introducerea de Zr, Ta, Nb - la cresterea acestora (pana la + 100°C). Cuprul si siliciul, chiar pe arii largi compozitionale, influenteaza foarte putin asupra temperaturilor de transformare.

2. Tehnologia de obtinere si proprietatile aliajelor cu memoria forme

Nitinolul in stare lichida absoarbe cu usurinta gaze si interactioneaza cu multe substante. De aceea topirea acestuia se efectueaza in vid sau in atmosfera de gaz inert. Cerintele de omogenitate chimica, exactitate si puritate compozitionala impuse lingourilor sunt foarte stricte.

Nitinolul este supus unui tratament sub presiune in intervalul de temperaturi 700-900°C. Incalzirea la temperaturi mai ridicate este periculoasa datorita oxidarii puternice si a formarii unui strat superficial fragil si poros.

Un rol important il are operatia tehnologica de termofixare. Semifabricatul este deformat la temperatura camerei. Pentru mentinerea formei si dimensiunilor se efectueaza o fixare dura dupa toate gradele de libertate si o incalzire ulterioara in vid pana la 650-700°C, adica pana la starea austenitica. Ca rezultat al acestei operatii se atinge o stare stabila structurala si dimensionala pe care proba "o tine minte".

Pentru cresterea caracteristicilor tribotehnice se efectueaza un tratament termochimic, ce consta in oxidarea si nitrurarea suprafetelor de frecare. Aliajele nitinol se sudeaza prin aceleasi procedee ca si alte aliaje de titan.

Aliajele nitinol au o prelucrabilitate mecanica foarte scazuta, in special aliajul Ti-Ni1 (vezi Tabelul 28) pentru care intervalul transformarii martensitice directe (Ms - Mf) se afla in jurul temperaturii camerei. In procesul de taiere au loc transformari structurale in stratul superficial ce duce la aparitia efectului de memoria formei si deci la schimbarea brusca a proprietatilor mecanice. Pentru prelucrarea mecanica se intrebuinteaza dispozitive speciale cu geometrie adecvata si posibilitati speciale de racire a materialului. Industrial, cele mai utilizate aliaje nitinol sunt cele doua indicate in Tabelul 28.

Aceste aliaje se obtin sub forma de foi de grosime ~ 10 mm, de sarma, pastile presate cu diametre < 110 mm si tevi cu diametrul exterior < 50 mm.

Tabelul 28 - Compozitia chimica a aliajelor nitinol, % greutate

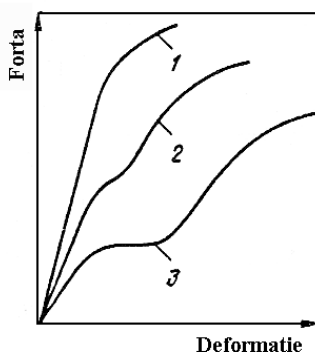
Aliajul	Principalele elemente de aliere		Incluziuni, % maxim							
	Ni	Ti	Fe	Si	C	N	O	H	Co	Altele
Ti-Ni 1	53,5-56,5	Rest	0,3	0,15	0,10	0,05	0,2	0,013	-	0,30
Ti-Ni 1K	50,0-53,5	Rest	2,5-4,5	0,15	0,10	0,05	0,2	0,013	0,2	0,30

Tabelul 29 - Principalele proprietati ale aliajelor tip nitinol

Parametrul	Ti-Ni 1	Ti-Ni 1K
Densitatea, g/cm ³	6,45-6,50	-
Temperatura de topire, °C	1250-1310	-
Coeficientul de dilatare termica, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	6,0-10,4	12,0-14,0
Rezistenta electrica specifica, 10 ⁻⁸ Ωm	55-60	70-80
Coeficientul Poisson	0,48	0,33
Rezistenta la intindere, MPa	600-800	800-1000
Limita de curgere, MPa	400-600	500-700
Limita fazica de curgere, σ _{0,2} ^Φ , MPa	150-200	nu apare pana la 20°C
Alungire relativa, %	20-40	20-40
Efectul de memoria formei:		
- deformatia limita pentru care are loc revenirea in intregime la forma initiala, %	6-8	-
- tensiunea de reactie, MPa	300-500	-

Doua caracteristici ale limitei de curgere sunt conditionate de posibilitatea existentei unor stari structurale diferite la temperatura camerei pentru aliajul Ti-Ni 1. Pentru o structura austenitica stabila, comportamentul nitinolului sub o sarcina exterioara este tipic majoritatii metalelor. Daca insa sub actiunea aceleiasi sarcini are loc transformarea martensitica si structura devine martensito-austenitica sau numai martensitica, atunci in afara limitei de curgere stabilita $\sigma_{0,2} = 400 - 600 \text{ MPa}$ se inregistreaza inca o limita de curgere la o valoare mult mai mica a tensiunii numita "*limita fazica de curgere*" $\sigma_{0,2}^{\Phi}$. Valoarea $\sigma_{0,2}^{\Phi}$ depinde de pozitia temperaturii de deformare T_d fata de temperaturile caracteristice ale transformarii martensitice. S-a stabilit ca valoarea minima $\sigma_{0,2}^{\Phi}$ apare pentru o temperatura T_d apropiata de M_s . Pentru o structura integral martensitica $\sigma_{0,2}^{\Phi} = 150-200 \text{ MPa}$, iar pentru o structura bifazica $\sigma_{0,2}^{\Phi} = 200 - 400 \text{ MPa}$. Aceasta este cauza pentru care in cazul nitinolului exista 3 tipuri de diagrame de intindere (vezi Figura 48).

Figura 48 - Diagramele de intindere pentru aliajele nitinol cu diferite stari structurale: 1 - austenita stabila; 2 - austenita + martensita; 3 - martensita;



In functie de compozitie si de conditiile de deformare, nitinolul poate prezenta efectul de memoria formei o singura data sau de mai multe ori. Efectul reversibil multiplu de memoria formei apare prin cicluri termice care traverseaza intervalele transformarii martensitice directe si reversibile. Acest efect multiplu apare atat sub sarcina cat si in lipsa acesteia si se mentine practic independent de numarul variatiilor termice.

Materialele superplastice cu memoria formei prin rezistenta pe care o opun pentru revenirea la forma initiala prin incalzire, genereaza tensiuni mecanice numite de reactie, care pot atinge valori considerabile. Aliajul Ti-Ni 1 in constructia unei piulite din principalul plan de separare din corpul reactorului nuclear, dezvolta tensiuni de reactie in dispozitivul de forta prin procesul de revenire la forma initiala de pana la 6 MN. Efectul de generare al tensiunilor

de reactie poate fi utilizat pentru obtinerea de generatoare de putere si energie.

In afara de nitinol, efectul de memoria formei a fost pus in evidenta in multe aliaje. Dar, conform cercetarilor efectuate in acest sens, utilizarea practica in afara nitinolului o au numai aliajele pe baza de cupru cum ar fi aliajele ternare Cu-Al-Ni si Cu-Zn-Al. Aceste aliaje au atras atentia cercetatorilor prin largirea considerabila a sferei de aplicabilitate a materialelor cu memoria formei. Costul aliajelor pe baza de cupru conform datelor firmelor japoneze producatoare de astfel de materiale nu depaseste 10% din costul nitinolului.

Principalul dezavantaj al aliajelor pe baza de cupru este fragilitatea acestora ridicata. Aliajul Ti-Ni poate fi deformat pana la rupere cu aproximativ 50%. Ruperea are loc prin formarea unui relief tip cupa-con, adica specific unei ruperi ductile.

Probele policristaline din aliajele pe baza de cupru sunt deosebit de fragile, dupa o deformare cu 2-3% aparand ruperea intercrystalina. Aceasta fragilitate ridicata ingreuneaza prelucrarea prin presiune a aliajelor cu memoria formei pe baza de cupru la temperatura camerei. In plus, aceste aliaje isi pot schimba temperatura de transformare si proprietatile ca urmare a imbatranirii la temperaturi mai mici decat cele de exploatare. Acest fapt limiteaza posibilitatea utilizarii acestora la temperaturi ridicate. Rezistenta la oboseala a acestor aliaje este si ea destul de scazuta.

Toate aceste fapte, la care se adauga si rezistenta ridicata la coroziune, in general, dar si rezistenta la coroziune sub tensiune fisuranta, in particular, fac ca aliajele nitinol sa fie practic de neinlocuit in cazul produselor cu destinatii speciale, desi pretul este destul de mare pentru nivelul tehnicii actuale.

3. Aplicatiile aliajelor cu memoria formei

Aliajele cu memoria formei fac parte din categoria asa numitelor "*materiale inteligente*" ce permit crearea de constructii si tehnologii principial noi in diferite domenii, cum ar fi industria constructoare de masini, industria aerospaciala, energetica, medicina etc. In cele ce urmeaza vom urmari cateva dintre cele mai importante aplicatii.

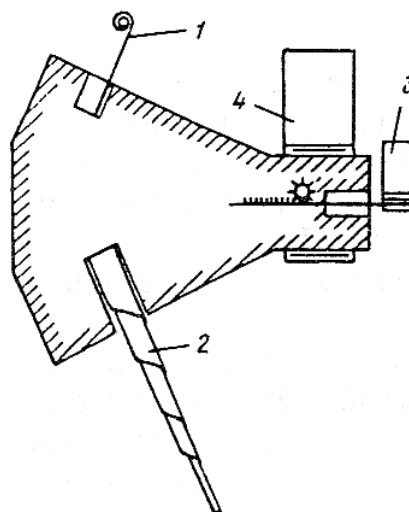
Cucerirea spatiului cosmic este legata in primul rand de crearea unor statii orbitale si a unor constructii cosmice de mari dimensiuni, pentru care sunt necesare printre altele baterii solare sau antene cosmice.

In Figura 49 se arata schema unui aparat cosmic cu antene telescopice. Aceste antene sunt confectionate dintr-o tabla foarte subtire sau foaie de nitinol rasucite in forma de spirala si

introduse intr-un orificiu al satelitelui. Dupa lansarea satelitelui si plasarea sa pe orbita, antena se incalzeste datorita caldurii radiatiei solare sau cu ajutorul unui dispozitiv special, desfasurandu-se in spatiul cosmic in pozitia de lucru necesara.

Pentru plasarea diferitelor obiective tehnice sau de productie, este necesara constructia in conditiile spatiului cosmic deschis a unor platforme mari de montaj deoarece aceste agregate mari se pot plasa in spatiul cosmic din punct de vedere tehnic doar pe bucati. Tehnologiile de montaj utilizate in mod curent cum ar fi sudarea si lipirea nu se pot aplica in spatiul cosmic. In plus, o atentie deosebita este acordata tehnicii de securitate in aceste conditii deosebite de lucru. Tinand seama de toate aceste probleme s-a creat o tehnologie unica de unire a acestor elemente in spatiul cosmic deschis prin utilizarea unui manson din nitinol.

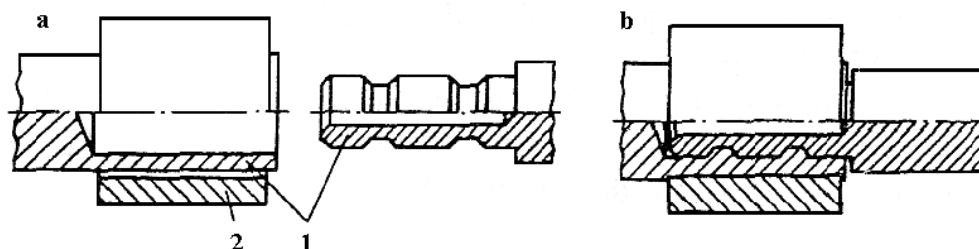
Figura 49 - Schema unui aparat cu elemente autotransformabile, destinat lucrului in spatiul cosmic



Aceasta tehnologie a fost aplicata cu succes la asamblarea unor grinzi din aliaj de Al cu o lungime totala de 14,5 m si o sectiune transversala in forma de patrat cu latura de 0,5 m. Grinda este formata din componente separate tubulare de diametru 28 mm ce trebuiesc unite intre ele cu ajutorul unor mufe din aliaj cu memoria formei (Figura 50).

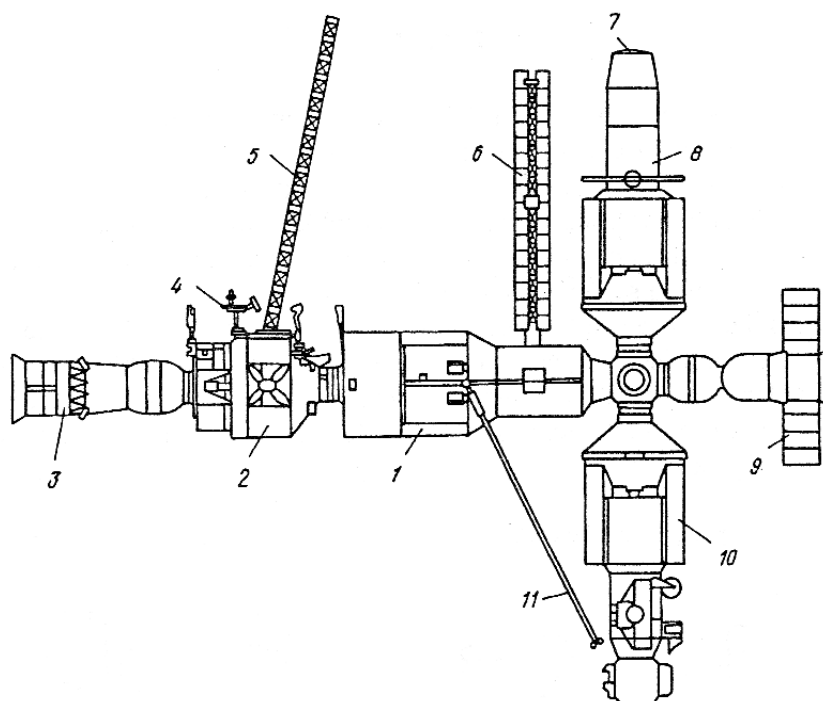
Mufa este deformata cu ajutorul unui dorn la temperaturi scazute astfel incat diametrul sau interior sa fie mai mare decat diametrul exterior al componentelor. Dupa incalzire la o temperatura superioara transformarii martensitice reversibile, diametrul interior al mufei revine la diametrul initial al mufei, generandu-se tensiuni de reactie de comprimare deosebit de puternice ce unesc elementele componente.

Figura 50 - Asamblarea unor piese tubulare (1) cu ajutorul unei mufe (2) din aliaj cu memoria formei; a - înainte de asamblare; b - după încălzire;



Asamblarea grinzii și montarea ei pe modulul spațial "Kwant" de pe complexul orbital "Mir" a fost realizată în anul 1991 prin 4 ieșiri în spațiul cosmic deschis, într-un timp total de 24 ore. În figura 51 este aratăta schema stației orbitale "Mir", deja devenită istorie din luna martie 2001, în forma în care arată în momentul montării grinzii.

Figura 51 - Schema complexului orbital "Mir" (cu o masă de 100t), unit cu aparatele "Soiuz TM12" și "Progress T8", în timpul asamblării grinzii prin utilizarea aliajelor cu memoria formei : 1 - "Mir"; 2 - "Kwant"; 3 - "Soiuz"; 4 - rastel; 5 - grinda; 6 - baterie solara; 7 - trapa de ieșire; 8 - "Kwant 2"; 9 - "Progress"; 10 - "Krista"; 11 - sgeata de sarcina;

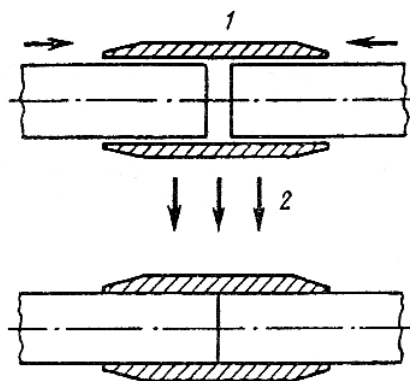


Aceleași principii constructive se pot utiliza și pentru montajul la adâncimi mari a construcțiilor submarine de gabarit mare.

Mufele pentru asamblarea termomecanică a țevelor se utilizează în numeroase situații

(Figura 52) ca de exemplu: a) in cazul avioanelor militare de atac F-14, pentru care nu s-a inregistrat nici o avarie legata de scurgeri de ulei ; b) pentru diferite conducte din constructia submarinelor nucleare sau a diferitelor nave maritime ; c) pentru reparatiile conductelor de transport de petrol de pe fundul marilor, caz in care sunt necesare mufe de diametru mare ~ 150 mm. Uneori, in aceste cazuri se utilizeaza si aliajul Cu-Zn-Al.

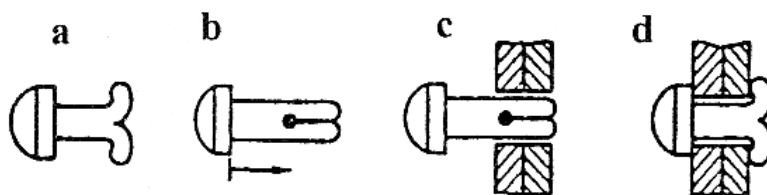
Figura 52 - Asamblarea tevilor prin aplicarea efectului de memoria forme



Pe langa fiabilitatea ridicata, aceste mufe confectionate din aliaje cu memoria forme au si avantajul lipsei necesitatii incalzirii la temperaturi ridicate (cum ar fi in cazul sudurii). De aceea, proprietatile materialelor in zona de asamblare nu se modifica.

Pentru asamblarea etansa a unor piese, se utilizeaza de obicei nituri, suruburi sau buloane. In cazul in care pe fata opusa a pieselor asamblate nu se poate actiona in nici un fel (fiind vorba de exemplu de un spatiu inchis ermetic) efectuarea operatiei de asamblare ridica probleme. Niturile din aliaje cu memoria forme permit asamblarea tocmai in aceste cazuri dificile. In starea initiala acest nit are capatul deschis ca in figura 53, a.

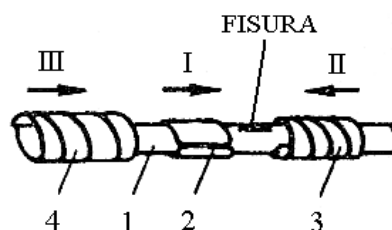
Figura 53 - Principiul de actiune al unui nit din aliaj cu memoria forme



Inaintea efectuării operatiei de asamblare, nitul este introdus in azot lichid pentru ca, racindu-se, capetele sa se indrepte (figura 53, b), este apoi introdus in orificiul practicat special pentru asamblare (figura 53, c), iar in final, prin revenirea la temperatura camerei, capetele nitului se departeaza din nou, operatia de asamblare fiind incheiata (figura 53, d).

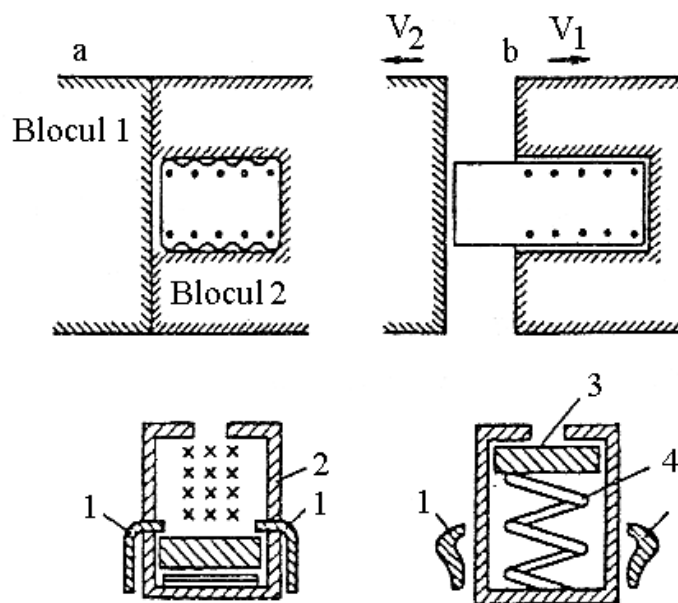
Materialulele cu memoria formeii se utilizeaza cu succes si in cazul reparatiilor de conducte (figura 54). Pe portiunea conductei cu fisura, se imbraca un petec tubular, taiat longitudinal, care este strans cu sarma sau banda spiralata din aliaj cu memoria formeii.

Figura 54 - Schema de reparatie a unei conducte fisurate: 1- conducta; 2 - petec tubular; 3, 4 - elemente din aliaj cu memoria formeii (I, II, III - succesiunea operatiilor)



Aliajele cu memoria formeii sunt utilizate si ca elemente de forta in dispozitivele de blocare ce pot lucra in dublu sens - blocare, deblocare (Figura 55).

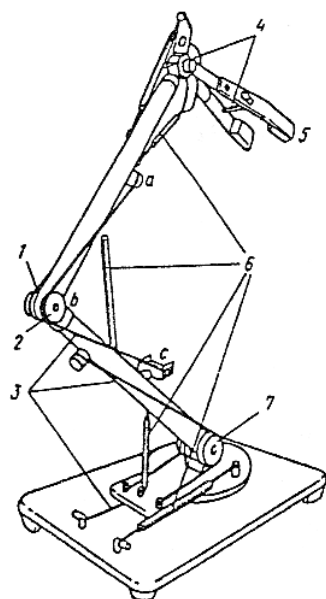
Figura 55 - Schema de functionare a: sus - dezlipirea unor blocuri de pe navele cosmice; jos - deblocarea unui dispozitiv de inchidere; a - pozitia initiala; b - dupa incalzirea elementului din aliaj cu memoria formeii; 1 - clichet; 2 - container; 3 - saiba de blocare; 4 - arc din aliaj cu memoria formeii



In Japonia a fost creat un robot (figura 56) cu brat, cu o articulatie sub forma de cot si o articulatie terminala de lucru cu 5 grade de libertate. Miscarea articulatiei terminale precum si miscarile de prindere - desprindere a bratelor mobile sunt asigurate de spiralele din aliaj TiNi, iar actiunea articulatiei cot este asigurata prin intinderea sau comprimarea unei sarme din

acelasi aliaj. Pozitionarea bratului si viteza de actiune se regleaza prin transmiterea unui curent alternativ. Finetea miscarilor este asigurata prin faptul ca valoarea fortei impuse (forta de revenire la forma initiala) este in concordanta cu valoarea curentului ales.

Figura 56 - Schema unui robot ce actioneaza cu ajutorul aliajelor cu memoria formei

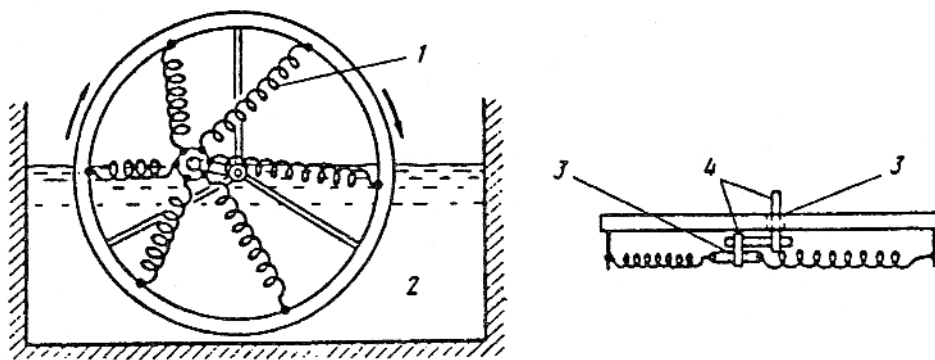


- 1 – articulatie;
- 2 – rola;
- 3 – sarma din aliaj Ti-Ni;
- 4 – spirala din aliaj Ti-Ni;
- 5 – dispozitiv de prins;
- 6 – arcuri;
- 7 – articulatie umar;

Materialele cu memoria formei pot fi utilizate si pentru motoarele termice simple ce utilizeaza variatii de temperaturi ale apei calde si reci sau ale apei calde si aerului rece. Asemenea motoare lucreaza pe baza transformarii in energie mecanica a energiei termice, cum ar fi de exemplu energia apei calde reziduale, sau a energiei solare sau geotermice.

Principiul de actiune al motorului cu mecanism biela-manivela pe baza aliajelor cu memoria formei este acelasi cu cel al motoarelor obisnuite Diesel sau cu benzina (vezi figura 57).

Figura 57 - Schema motorului Guinelle cu mecanism biela-manivela: 1 - spirala din aliaj Ti-Ni; 2 - apa fierbinte; 3 - lagar; 4 - axe fixe;



Motorul actioneaza cu ajutorul a 6 spirale din aliaj Ti-Ni. Axele rotii de lucru si arborelui manivela sunt dislocate unul fata de altul. Alungirea si comprimarea spiralelor in functie de variatia temperaturii mediilor rece si cald (intre 10-20°C) actioneaza ca si in miscarea unui piston dintr-un motor obisnuit, ducand la rotatia rotii de lucru.

Un interes deosebit il reprezinta utilizarea aliajelor cu memoria formei in medicina, largindu-se posibilitatea de creare de noi metode efective de vindecare. Aliajele, utilizate in medicina trebuie sa aiba nu numai caracteristici mecanice deosebite, dar si rezistenta la coroziune in mediul biologic, compatibilitate biologica cu tesuturile organismului uman, lipsa de toxicitate, sa impiedice procesul de malignizare si toate acestea in timp indelungat. Daca organul metalic implantat devine activ fata de structura biologica, atunci va avea loc o mutatie a celulelor biologice din structura periferica, o dereglare a circulatiei sanguine si in final o distrugere a structurii biologice. Daca organul implantat este inert din punct de vedere biologic, atunci in jurul acestuia se formeaza o structura fibroasa de fibre colagenice care acopera intregul implant, dandu-i acestuia posibilitatea sa functioneze stabil in organismul biologic.

Experimentele speciale efectuate pe animale au aratat ca aliajele Ti-Ni poseda compatibilitate biologica superioara otelurilor inox si aliajelor Co-Cr, utilizate in mod curent in aceasta directie. Asadar, utilizarea aliajelor cu memoria formei in medicina a dovedit compatibilitatea acestora cu tesuturile biologice si lipsa riscului de respingere de catre structurile biologice ale organismului uman.

Corectarea coloanei vertebrale

Diferitele modificari ale coloanei vertebrale datorate accidentarilor, starilor malade sau pur si simplu obiceiului unei pozitionari defectuoase, duc la deformatii puternice in timpul mersului, fapt ce provoaca nu numai puternice dureri, dar si o influenta nefasta asupra organelor interne. Printr-o operatie chirurgicala ortopedica, corectarea coloanei vertebrale se

efectueaza cu ajutorul lamei Harrington din otel inoxidabil. Neajunsul acestei metode consta in micsorarea in timp a fortei de corectie initiale. Dupa 20 minute de la instalare, forta de corectie se diminueaza cu 20%, iar dupa 10-15 zile cu 30% fata de forta initiala.

Corectarea suplimentara a acestei forte presupune operatii ulterioare deosebit de dureroase si care nu intotdeauna isi ating telul. Daca lama Harrington este confectionata din aliaj cu memoria formei, aceasta se monteaza printr-o singura operatie nemaifiind necesare operatii ulterioare.

Daca dupa operatie, lama este incalzita la o temperatura care depaseste doar cu putin temperatura corpului, atunci se creaza forta de corectie necesara, constanta si ca valoare si pe intreaga durata de timp, indiferent de variatia centrului de greutate si al punctelor de sprijin. Cele mai bune aliaje in acest scop s-au dovedit aliajele Ti-Ni cu adaosuri de Cu, Fe si Mo care, in afara de memoria formei, posedea si o elasticitate ridicata in intervalul de temperaturi 35-410 °C.

Placa pentru alipirea oaselor

Metodele medicale in cazul fracturii oaselor constau in fixarea zonei fracturate, cu ajutorul unor placi din otel inox sau aliaje Co-Cr, intr-o pozitie astfel incat asupra oaselor sa actioneze o forta de comprimare. Daca aceasta placa este confectionata dintr-un aliaj cu memoria formei, atunci devine posibila fixarea zonei de fractura dupa operatie printr-o incalzire exterioara a placii pana la o temperatura putin superioara temperaturii corpului. Astfel, dispare necesitatea unei comprimari longitudinale a osului in timpul operatiei.

Tije interosoase

Asemenea tije se utilizeaza in fracturile osului tibian. Tijele din otel inox sunt introduse pana in maduva osului, fixandu-l. Aplicand aceasta metoda, osul se fixeaza datorita proprietatilor elastice ale otelului inox, de aceea este necesara utilizarea unei tije cu diametrul mai mare decat diametrul orificiului, pentru crearea unui grad de deformare mai mare. Dar, in acest caz, exista riscul deteriorarii tesutului osos in zona de implantare a tije.

Operatia chirurgicala este mult simplificata prin utilizarea de tije din aliaj cu memoria formei Ti-Ni. Tijele, in prealabil racite, revin la temperatura corpului la forma initiala, crescand gradul de fixare foarte mult.

Dispozitiv pentru intinderi osoase

In acest scop este utilizata proprietatea unui material de revenire la forma initiala, intr-un interval dat de temperaturi, prin care se creaza tensiuni puternice. Dispozitivul se intrebuinteaza pentru repararea fracturilor osoase, prin intinderi osoase constante si discrete.

Sarma pentru corectarea danturii

Pentru corectarea danturii se utilizeaza sarma din otel inox prin care se genereaza forte elastice. Neajunsul otelului inox consta in valoarea mica a alungirii elastice si ca urmare in posibila deformare plastica a sarnei corectoare. Utilizandu-se sarma din aliaj Ti-Ni, chiar pentru o valoare a deformarii elastice de 10%, nu apare deformarea plastica, iar forta optima de corectie se pastreaza.